



**LATVIJAS  
UNIVERSITĀTE**

**Promocijas darba  
kopsavilkums**

Rīga, 2020

**Karina Stankeviča**

**SAPROPEĻA ĪPAŠĪBU  
RAKSTURS ATKARĪBĀ NO  
VEIDOŠANĀS APSTĀKĻIEM UN  
TĀ IZMANTOŠANAS IESPĒJAS**

Zinātņu doktora (PH.D.) grāda iegūšanai  
Zemes zinātnēs, fiziskajā ģeogrāfijā, vides zinātnēs

Zinātniskie vadītāji:

Prof. Dr. habil. chem. Māris Kļaviņš, Dr. geogr. Laimdota Kalniņa



**LATVIJAS  
UNIVERSITĀTE**

**ĢEOGRĀFIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE**

**Karina Stankeviča**

**SAPROPEĻA ĪPAŠĪBU RAKSTURS ATKARĪBĀ  
NO VEIDOŠANĀS APSTĀKĻIEM UN TĀ  
IZMANTOŠANAS IESPĒJAS**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātņu doktora (PH.D.) grāda iegūšanai  
Zemes zinātnēs, fiziskajā ģeogrāfijā, vides zinātnēs

RĪGA, 2020

Promocijas darbs tika izstrādāts no 2011. līdz 2020. gadam Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes Vides zinātnes nodaļā

Promocijas darbs tika izstrādāts ar finansiālu atbalstu:

- ESF projekts “Starpnozaru jauno zinātnieku grupa Latvijas augšņu kvalitātes, izmantošanas potenciāla novērtēšanai un atjaunošanai”  
No. 2013/0020/1DP/1.1.1.2.0./13/APIA/VIAA/066
- Latvijas Zinātnes padomes grants “Kūdras humusvielu īpašības, struktūra un to modifikācijas iespēju izpēte” No. lzp-2018/1-0009

Darba zinātniskie vadītāji:

prof. *Dr. habil. chem.* **Māris Kļaviņš**  
*Dr. geogr.* **Laimdota Kalniņa**

Darba recenzenti:

1. Doc. *Dr. Vaidotas Valskys* (Viļņas Universitāte, Lietuva)
2. Prof. *Dr.sc.ing. Ainis Lagzdīns* (Latvijs Lauksaimniecības universitāte)
3. Asoc. prof. *Dr.biol. Gunta Sprinģe* (Latvijas Universitāte)

Promocijas padome:

- 1) Prof. *Dr.biol. Viesturs Melecis*, padomes priekšsēdētājs
- 2) Prof. *Dr. geogr. Oļģerts Nikodemus*, priekšsēdētāja vietnieks
- 3) Prof. *Dr. habil.chem. Māris Kļaviņš*
- 4) Prof., *Dr. habil. paed. Raimnonds Ernšteins*
- 5) Asoc. prof. *Dr. geogr Iveta Šteimberga*
- 6) Asoc. prof. *Dr.biol. Gunta Sprinģe*
- 7) Doc. *Dr.geogr. Juris Burlakovs*
- 8) Doc. *Dr.geogr. Oskars Purmalis*, promocijas padomes sekretārs

Promocijas darba aizstāvēšana notiks 2020. gada 30. oktobrī plkst. 11:00 Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes Promocijas padomes sēdē Jelgavas ielā 1, 702. telpā, Rīgā.

Ar promocijas darbu un tā kopsavilkumu var iepazīties Latvijas Universitātes Bibliotēkā, Rīgā, Kalpaka bulvāris 4.

Promocijas padomes sekretārs

*Dr.geogr.* **Oskars Purmalis**  
Latvijas Universitāte  
Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte  
Raiņa bulvāris 19, LV-1586, Rīga  
e-pasts: oskars.purmalis@lu.lv

© Karina Stankeviča, 2020

© Latvijas Universitāte, 2020

ISBN 978-9934-18-567-0

## ANOTĀCIJA

Promocijas darbā tika pētītas sapropeļa īpašību un izmantošanas iespēju izmaiņas atkarībā no tā veidošanas apstākļiem, analizējot datus par sapropeļa iegulām visā Latvijā un detalizēti izpētot trīs ezeru (Padēlis, Pilcīnes ezers un Pilvelis) sapropeļa profilus.

Darba ietvaros tika izveidota saldūdens ezeru sapropeļa GIS datubāze un tika adaptēta sapropeļa tipu klasifikācija, ar mērķi sistematizēt un apkopot datus par sapropeļa pētījumiem visā Latvijā, noteikt kopējos resursa apjomus un veikt izpēti par sapropeļa resursu veidošanās raksturīgām iezīmēm, kā arī izvērtēt iespējamās sapropeļa izmantošanas jomas.

Lai raksturotu sapropeļa uzkrāšanās likumsakarības klimata un vides ietekmē, tika veikta trīs ezeru profilu izpēte, izmantojot multidisciplināru metožu pieeju, kas ietvēra nogulumu profila paleobotāniskā un ķīmiskā sastāva izpēti, kā arī nogulumu vecuma noteikšanu ar iespēju rekonstruēt vides un klimata apstākļus.

Rezultāti atklāj, ka Latvijas ezeros (kuru kopējais skaits ir vairāk nekā 2200) uz doto brīdi apzinātie sapropeļa krājumi ir aptuveni 975 miljoni m<sup>3</sup> jeb 530 tūkst. t (ar mitrumu 60%). Sapropeļa uzkrāšanās ir raksturīga ezeriem, kas veidojušies Augšpleistocēna nogulumos, turklāt sapropeļa tips ir atkarīgs no šo nogulumu rakstura. Sapropeļa iegulas ir raksturīgas glaciģēnas izcelsmes ezeriem ar caurteces un noteces ūdens režīmu. Lielāko sapropeļa krājumu apjoms atrodas eitrofos un hipereitrofos ezeros. Sapropeļa veids un sastāvs atšķiras katras iegulas ietvaros un ir atkarīgs no ūdens ķīmiskais sastāva, dziļuma un temperatūras. Jaunākajos nogulumos ir novērotas augstākas metālu koncentrācijas, salīdzinot ar fona līmeni, kas tiek saistīts ar cilvēka darbības ietekmi.

**Atslēgvārdi:** *saldūdens sapropelis, gitija, sedimentu veidošanās apstākļi, holocēns, metālisko elementu akumulācija, putekšņi, makro- un mikroatliekas, malakofauna, Latvijas ezeri*

# SATURS

IEVADS .....	149
1. PĒTĪJUMA TEORĒTISKAIS PAMATOJUMS.....	154
2. MATERIĀLI UN METODES .....	156
2.1. Pētījuma teritorija un detalizētās izpētes vietas .....	156
2.2. Sapropēja datubāze .....	156
2.3. Analītiskās metodes un sedimentu vecuma noteikšana .....	157
2.4. Datu statistiskā apstrāde .....	157
3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA.....	158
3.1. Saldūdens sapropēja tipoloģija, daudzums un izplatība Latvijas teritorijā.....	158
3.2. Sapropēja veidošanās likumsakarības Latvijas teritorijā.....	163
3.3. Vides un ezera attīstības rekonstrukcija sapropēja veidošanās laikā .....	165
3.4. Metālisko elementu saturs un faktori, kas ietekmē to uzkrāšanos sapropelī.....	169
SECINĀJUMI .....	171
LITERATŪRAS SARAKSTS.....	172

## IEVADS

Sapropelis ir viens no nozīmīgiem Latvijas nacionālajiem dabas resursiem. Tā apjoms ezeros ir vairāk nekā 500 miljoni tonnu (ar mitrumu 60%). Šie organogēnie ezera nogulumi ir veidojušies holocēnā pēdējos 11 000 gados un uzkrājušies ūdens vidē. Sapropelis ir nozīmīgs resurss gan Latvijas ekonomikai, gan ka dabas vēstures izpētes objekts, gan vides aizsardzības ietvaros. Tāpēc ir svarīgi uzlabot zinātnisko un sabiedrības izpratni par procesiem, kas notiek ūdenstilpēs, jo īpaši par faktoriem, kas ietekmē sedimentāciju un sedimentu sastāvu.

Ezera nogulumu zinātniskā izpēte ir aktuāla sekojošu iemeslu dēļ:

1. Ezera nogulumi ir pagātnes dabas arhīvs. Tie atspoguļo klimata, veģetācijas un zemes izmantošanas veidu pārmaiņas pagātnē, tādējādi nogulumu analīzi var izmantot kā instrumentu vides mainības rekonstrukcijai.
2. Nogulumu sastāva izmaiņas ezera attīstības laikā ir cieši saistītas ar to veidošanās vidi, paleoģeogrāfiskajiem un paleoekoloģiskajiem apstākļiem, ieskaitot ezera ūdens līmeņa svārstības, kā arī atklāj dabas notikumus, piemēram, vulkānu izvirdumus, meža ugunsgrēkus un cilvēku ietekmi.
3. Ezera nogulumu daudznozaru pētījumiem ir īpaša nozīme, lai izprastu klimata un vietējās vides izmaiņas laika gaitā, kas ietekmē sedimentācijas procesus un nogulumu īpašības, iemeslus un raksturu.
4. Ezeru nogulumos ir saistīts liels apjoms organiskā oglekļa, slāpekļa un fosfora savienojumu. Tādējādi ezeru nogulumus var uzskatīt par nozīmīgu dabas resursu ar plašu pielietojuma potenciālu. Ezera nogulumu praktiskā izmantošana ir nozīmīga dažādās nozarēs, ieskaitot lauksaimniecību, dārzkopību un mežsaimniecību, kā arī medicīnu vai kosmetoloģiju, kur sapropeli var lietot kā ārstnieciskās dūņas vai kā izejviela ķīmiskajā vai farmaceitiskajā ražošanā.
5. Ezeru nogulumu pētījumu rezultāti ļauj labāk izprast, kādi pasākumi būtu jāņem vērā ezeru ekosistēmas aizsardzībā, īpaši attiecībā uz ezeriem, kuri izzūd intensīvu aizaugšanas procesu un organisko nogulumu uzkrāšanās ietekmē.

Sapropelis ir nozīmīgs organiskā materiāla izejvielu avots. Tas ir daļēji atjaunojams zemes dziļu resurss, kas izveidojies kvartāra periodā. Šajā darbā termins "sapropelis" tiks izmantots, lai aprakstītu iekšzemes saldūdens nogulumus, kas ir bagāti ar organiskām vielām (organisko vielu saturs pārsniedz 15%) un kuri veidojas iekšzemes ūdenstilpēs bioloģisku un ķīmisku procesu rezultātā sadaloties atmirušu augu un ūdens organismu atliekām (Stankeviča *et al.*, 2017).

### Promocijas darba hipotēze

Sapropēja pielietojamas potenciāls ir atkarīgs no tā veidošanās apstākļiem, galvenokārt no ģeoloģiskajiem procesiem un vides faktoriem, kas ietekmē sapropēja elementu sastāvu, tostarp, smago metālu uzkrāšanos sapropēja veidošanās laikā.

## Promocijas darba mērķis

Izpētīt saldūdens sapropeļa uzkrāšanās apstākļus ūdenstilpēs, metālisko elementu uzkrāšanās raksturu un sapropeļa veidošanās ietekmi uz tā īpašībām un izmantošanas iespējām.

## Promocijas darba uzdevumi

1. Pielāgot saldūdens sapropeļa klasifikācijas sistēmu Latvijas apstākļiem un izpētīt tās izmantošanas iespējas uz atsevišķu Latvijas ezeru piemēra;
2. Novērtēt sapropeļa pielietošanas potenciālu un izpētīt tā izmantošanas iespējas.
3. Izveidot saldūdens sapropeļa resursu datubāzi Latvijas ezeriem un novērtēt sapropeļa izmantošanas iespējas;
4. Veikt sapropeļa sastāva izpēti, izmantojot paleolimnoloģiskās un ķīmiskās izpētes metodes;
5. Analizēt un raksturot uzkrāto sapropeļa nogulumu sastāvu, ņemot vērā ģeoloģisko struktūru, ezera baseina teritorijas reljefu un ezeru ieplakas veidošanās raksturu.

## Promocijas darba novitāte

- Multiparametru metodes pieeja sapropeļa sastāva analizē;
- Tika noteikts:
  - Makroelementu un smago metālu uzkrāšanās raksturs sapropeli;
  - Vides faktoru ietekme uz sapropeļa veidošanos;
  - Sakarību identificēšana starp sapropeļa veidošanos un sastāvu.
- Izstrādāta sapropeļa resursu izpētes metodoloģija, izmantojot mūsdienīgas izpētes metodes;
- Veikta sapropeļa sastāva un ģeoloģiskās veidošanās apstākļu mijiedarbības izpēte, kas pielietojama resursu izmantošanas prognozēšanai.

## Metodoloģijas raksturojums

Lai sasniegtu promocijas darba mērķi un izpildītu izvirzītos uzdevumus, autore izmantojusi metodes, kuras var iedalīt trīs grupās:

Ģeotelpiskā datu analīze – ļauj vispārīgi raksturot ezerus un sapropeli Latvijā, kā arī detāli raksturot pētāmo ezeru sateces baseinus.

Paleolimnoloģiskie un sapropeļa sastāva pētījumi – ļauj raksturot sapropeļa uzkrāšanās un sastāva izmaiņas laikā, ņemot vērā ezera attīstību un klimatu. Paleolimnoloģiskie pētījumi ietver oglekļa un svina datējumus, putekšņu un sporu, makro- un mikroatlieku, kā arī atsevišķiem paraugiem malakofaunas identificēšanu. Sapropeļa sastāva izpētē ietilpst karsēšanas zudumu analīze, elementsastāva, metālisko elementu kopējā daudzuma un humusvielu apjoma noteikšana.

Visiem datiem tika veikta statistiskā analīze – Pīrsona korelācija, galveno komponentu analīze un izkliedes diagrammas.

## Promocijas darba rezultātu aprobācija

Promocijas pētījuma rezultāti ir aprobēti 23 zinātniskās publikācijās, no kurām 12 ir indeksētas SCOPUS un Web of Science zinātniskās literatūras datu bāzēs, apspriesti 24 ziņojumos starptautiskās zinātniskās konferencēs, 17 referātos vietēja mēroga konferencēs Latvijā; izstrādāts 1 patents.

### Zinātniskās publikācijas:

1. **Stankeviča, K.**, Vinceviča-Gaile, Z., Klavins, M., Kalnina, L., Stivrins, N., Grudzinska, I., Kaup, E. (2020). Accumulation of metals and changes in composition of freshwater lake organic sediments during the Holocene. *Chemical Geology*, 539, 119502, <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2020.119502> (SCOPUS; Web of Science)
2. **Stankeviča, K.**, Vinceviča-Gaile, Z., Klavins, M. (2019). Role of humic substances in agriculture and variability of their content in freshwater lake sapropel. *Agronomy Research*, 17(3), 850-86, <https://doi.org/10.15159/AR.19.094> (SCOPUS; Web of Science)
3. Vinceviča-Gaile, Z., **Stankeviča, K.**, Irtiseva, K., Shishkin, A., Obuka, V., Celma, S., Ozolins, J., Klavins, M. (2019). Granulation of fly ash and biochar with organic lake sediments – A way to sustainable utilisation of waste from bioenergy production. *Biomass and Bioenergy*, 125, 23-33, doi:<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.04.004> (SCOPUS)
4. Vinceviča-Gaile, Z., **Stankeviča, K.** (2018). Impact of micro- and macroelement content on potential use of freshwater sediments (gyttja) derived from lakes of eastern Latvia. *Environmental Geochemistry and Health*, 40(5), 1725-1738, <https://doi.org/10.1007/s10653-017-9912-y> (SCOPUS; Web of Science)
5. Purmalis, O., **Stankeviča, K.** (2017). Radiolokācijas pielietošana sapropelja iegulu izpētē [Sapropel deposits exploration using radiolocation approach]. Kļaviņš, M. (Red.) *Kūdra un sapropelis – ražošanas, zinātnes un vides sinerģija resursu efektīvas izmantošanas kontekstā* (132-137 lpp.). Rīga: Latvijas Universitāte.
6. **Stankeviča, K.**, Vincēviča-Gaile, Z., Nartišs, M., Varakājs, D., Kļaviņš, M., Kalniņa, L. (2017). Sapropelja resursu sistematizācija un izmantošanas potenciāla reģionālais sadalījums Latvijā [Systematization of sapropel resources and division of regional potential for exploitation in Latvia]. Kļaviņš, M. (Red.) *Kūdra un sapropelis – ražošanas, zinātnes un vides sinerģija resursu efektīvas izmantošanas kontekstā* (169-175 lpp.). Rīga: Latvijas Universitāte.
7. **Stankeviča, K.**, Kļaviņš, M., Kalniņa, L. (2017). Sapropelja definīcija un klasifikācijas iespējas [Sapropel's definition and classification options]. Kļaviņš, M. (Red.) *Kūdra un sapropelis – ražošanas, zinātnes un vides sinerģija resursu efektīvas izmantošanas kontekstā* (165-168 lpp.). Rīga: Latvijas Universitāte.
8. **Stankeviča, K.**, Vinceviča-Gaile, Z., Muter, O., Klavins, M. (2016). Physiological response of bacteria consortium to the presence of intact and autoclaved freshwater sapropel (gyttja) derived in the eastern Latvia. In Méndez-Vilas, A. (Ed.), *Microbes in the Spotlight: Recent Progress in the Understanding of Beneficial and Harmful Microorganisms* (pp. 110-115). Boca Raton: BrownWalker Press.



9. **Stankevica, K.**, Vincevica-Gaile, Z., Klavins, M. (2016). Freshwater sapropel (gyttja): Its description, properties and opportunities of use in contemporary agriculture. *Agronomy Research*, 14(3), 929-947. (SCOPUS)
10. Vincevica-Gaile, Z., Stapkevica, M., **Stankevica, K.**, Burlakovs, J. (2015). Testing sapropel (gyttja) as soil amendment: assessment of plant germination and early seedling development. *Research for Rural Development 2015: 21<sup>st</sup> Annual International Scientific Conference*, 1, 88-94. (SCOPUS; Web of Science)
11. **Stankevica, K.**, Pujate, A., Kalnina, L., Klavins, M., Cerina, A., Drucka, A. (2015). Records of the anthropogenic influence on different origin small lake sediments of Latvia. *Baltica*, 28(2), 135-150, <https://doi.org/10.5200/baltica.2015.28.12> (SCOPUS; Web of Science)
12. **Stankevica, K.**, Kalnina, L., Klavins, M., Cerina, A., Ustupe, L., Kaup, E. (2015). Reconstruction of the Holocene paleoenvironmental conditions accordingly to the multiproxy sedimentary records from Lake Pilvelis, Latvia. *Quaternary International*, 386, 102-115, <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.02.031> (SCOPUS; Web of Science)
13. **Stankevica, K.**, Vincevica-Gaile, Z., Muter, O. (2014). Microbial community analysis of sapropel (gyttja) derived from small overgrowing lakes in the eastern Latvia. In J. Truu, U. Kalnenieks (Eds.), *Soil ecosystem health and management of contaminated sites: Special issue of the 2<sup>nd</sup> Conference of Baltic Microbiologists* (pp. 66-82). Tartu: Tartu University.
14. **Stankevica, K.**, Vincevica-Gaile, Z., Klavins, M. (2014). Influence of sapropel (gyttja) on *Trifolium pratense* seeds germination in presence of copper. *SGEM2014 GeoConference Proceedings*, 2, 175-182, <https://doi.org/10.5593/SGEM2014/B32/S13.024> (SCOPUS; Web of Science)
15. **Stankevica, K.**, Burlakovs, J., Klavins, M., Vincevica-Gaile, Z. (2014). Environmental and economic aspects of small freshwater lake sustainable use: Lake Pilvelis example. *SGEM2014 Conference Proceedings*, 3, 127-134, <https://doi.org/10.5593/SGEM2014/B53/S21.018> (SCOPUS; Web of Science)
16. Bunere, S., **Stankeviča, K.**, Klavins, M. (2014). Effects of sapropel on the growth of radish (*Raphanus sativus* L.). *Proceedings of the 56<sup>th</sup> International Scientific Conference of Daugavpils University*, 16-24.
17. **Stankevica, K.**, Burlakovs, J., Klavins, M. (2013). Organic rich freshwater sediments (sapropel) as potential soil amendment for recultivation of areas contaminated with heavy metals. *SGEM2013 GeoConference Proceedings*, 595-602, <https://doi.org/10.5593/SGEM2013/BC3/S13.016> (SCOPUS; Web of Science)
18. **Stankeviča, K.**, Kļaviņš, M. (2013). Sapropelis un tā izmantošanas iespējas [Sapropel and its application possibilities]. *Material Science and Applied Chemistry*, 29, 109-126, <https://doi.org/10.7250/msac.2013.028>
19. Ustupe, L., Ceriņa, A., **Stankeviča, K.**, Kalniņa, L., Kļaviņš, M. (2013). Paleovegetation changes in the Lake Pilvelis. In Kļaviņš, M., Kalniņa, L. (Eds.), *Bog and Lake Research in Latvia* (pp. 36-44). Riga: University of Latvia.

20. Obuka, V., Korjamins, A., Brencis, R., Preikšs, I., Purmalis, O., **Stankeviča, K.**, Kļaviņš, M. (2013). Sapropēļa kūdras, sapropēļa kokskaidu siltumizolācijas plāksnes un to īpašības [Insulation boards of sapropel/peat, sapropel/wood chips and their properties]. *Material Science and Applied Chemistry*, 29, 127-136, <https://doi.org/10.7250/msac.2013.029>
21. Batzias, F., Sidiras, D., Siontorou, C., **Stankevica, K.** (2013). Ontological mapping of lake sediment formation/exploitation within an environmental management framework. *Recent Advances in Fluid Mechanics and Heat and Mass Transfer*, 93-98.
22. **Stankeviča, K.**, Klavins, M., Rutina, L., Cerina, A. (2012). Lake sapropel: A valuable resource and indicator of lake development. *Advances in Environment, Computational Chemistry and Bioscience*, 247-252.
23. **Stankeviča, K.**, Kļaviņš, M., Rutina, L. (2012). Accumulation of metals in sapropel. *Material Science and Applied Chemistry*, 26, 99-105.
24. Rūtiņa, L., Ceriņa, A., **Stankeviča, K.**, Kļaviņš, M. (2012). Character of paleovegetation change in lakes Pilcines, Pilveļu, Padēlis. *Acta Biologica Universitatis Daugavpiliensis*, 3, 94-107.

### Patents

**Stankeviča, K.** (2015) Bioloģiski aktīvu humusvielu iegūšanas paņēmiens [Method for producing biologically active humic substances]. *Patent of Latvia No. LV 15014 A.*

# 1. PĒTĪJUMA TEORĒTISKAIS PAMATOJUMS

Sapropelis ir organogēni nogulumi, kuri uzkrājušies ūdens vidē, stāvošās vai lēni caurtekošās ūdenstilpēs, veidojušies no ūdensaugu un dzīvnieku organismu atliekām, kā arī no ūdenstilpē esošām vai no sateces baseina ienestām minerālo vielu daļiņām (Lopatin, 1983; Lopotko, 1974). Sapropelis ir zemes dziļu resurss, kas pēc tā ieguves daļēji un lēni atjaunojas. Sapropēja veidošanās ir atkarīga no procesiem, kas norit ūdenstilpēs, un tā veidošanās norisinās vielu un enerģijas cirkulācijas pārrāvumu dēļ (Kurzo, 1988). Dažādu atradņu sapropēja sastāvs un īpašības ir ļoti atšķirīgas; to nosaka konkrētās ūdenstilpes produktivitāte, fizioģeogrāfiskie apstākļi, hidroloģiskais režīms, virszemes noteces un gultnes īpatnības, kā arī klimatiskie apstākļi. Par sapropeli pieņemts uzskatīt saldūdens nogulumus ar organisko vielu saturu augstāku par 15%; ja organisko vielu saturs ir zemāks, tad šie nogulumi tiek dēvēti par augsti pelnainiem ezera nogulumiem. No kūdras sapropelis atšķiras ar smalku struktūru, vides reakciju, organisko vielu daudzumu, veidotājorganismiem un humusvielu daudzumu.

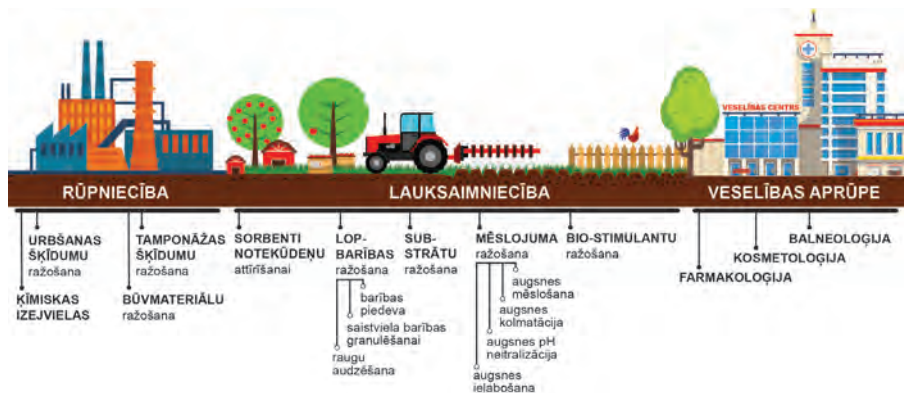
Baltijas valstu teritorijā nogulumi ar organisko vielu piemaisījumu, tai skaitā sapropeli, sāka veidoties pirms 12-15 tūkstošiem gadu (Zelčs and Markots, 2004), ledājam atkāpjoties un klimatam kļūstot siltākam. Masveida sapropēja veidošanās norisinās holocēnā (no 11 700 kal.g.p.m.) līdz mūsdienām (Heikkilä and Seppä, 2010; Klavins *et al.*, 2011; Ozola *et al.*, 2010; Stančikaitē *et al.*, 2009, 2015; Stankeviča *et al.*, 2015; Stivrins, 2015; Stivrins *et al.*, 2014, 2015, 2019; Terasmaa *et al.*, 2013).

Vienotu terminu un klasifikācijas ieviešana ezeru nogulumiem ir sarežģīta, jo katra zinātnes nozare ir izveidojusi savu terminoloģiju un klasifikāciju, kas atbilst tās pētījumu virzienam un mērķiem (Braksh, 1971; Lundquist, 1927; Titov, 1950). Izvērtējot sapropeli kā resursu piemērotākas klasifikācijas ir balstītas uz sapropēja sastāvu (BSSC Institute, 2010; Kireicheva and Khokhlova, 1998; Pidoplichko and Grishchuk, 1962).

Sapropēja sastāvā ietilpst trīs izcelsmes veidu vielas. Galvenais avots ir organismu atliekas no ezera teritorijas – planktons, bentoss un makrofīti. Otrs avots ir alohtonas izcelsmes organiskas, minerālas vielas un organiski-minerālais materiāls, kas tiek ienests ezerā ar gaisa plūsmām, nokrišņiem, noteci un gruntsūdeņiem. Trešā vielu grupa ir tās, kas nogulsņējas ezera pamatnē ķīmisku un fizikāli-ķīmisko procesu rezultātā (Bambalov, 2013).

Organisko vielu komplekss ir sapropēja svarīgākā sastāvdaļa, kas veido organisko komponentu summu. Tās var iedalīt molekulāros organiskos savienojumos (proteīni, ogļhidrāti, humīnskābes, vitamīni un enzīmi) un hidrobiontu neizšķīdušās atliekās, kuras satur celulozi, fosforu, kāliju un kalciju (Stankeviča un Klaviņš, 2013).

Sapropelis satur gan ķīmiski nesaistītas, gan saistītas minerālvielas – karbonātus, silikātus, dzelzs hidroksīdu u.c. Nesaistītas minerālvielas tiek pieskaitītas pie sapropēja balastvielām. Minerālvielas, kas ķīmiski saistītas ar organiskajām vielām, sapropeli veido sarežģītu bioloģiski aktīvo vielu kompleksus. Atkarībā no atradnes vietas sapropelis var būt stipri atšķirīgs gan pēc mineralizācijas pakāpes (pelnu satura), gan organiskās masas grupu sastāva un minerālvielu satura – šie ir būtiski parametri, kas nosaka sapropēja iegulu izmantošanas potenciālu.



1. attēls. Sapropeļa izmantošanas iespējas

Sapropelīm ir plašas izmantošanas iespējas (1. attēls). To var izmantot praktiski jebkurā tautsaimniecības jomā, taču tā lielā dažādība un zemais izpētes līmenis traucē racionāli iegūt gaidāmos rezultātus.

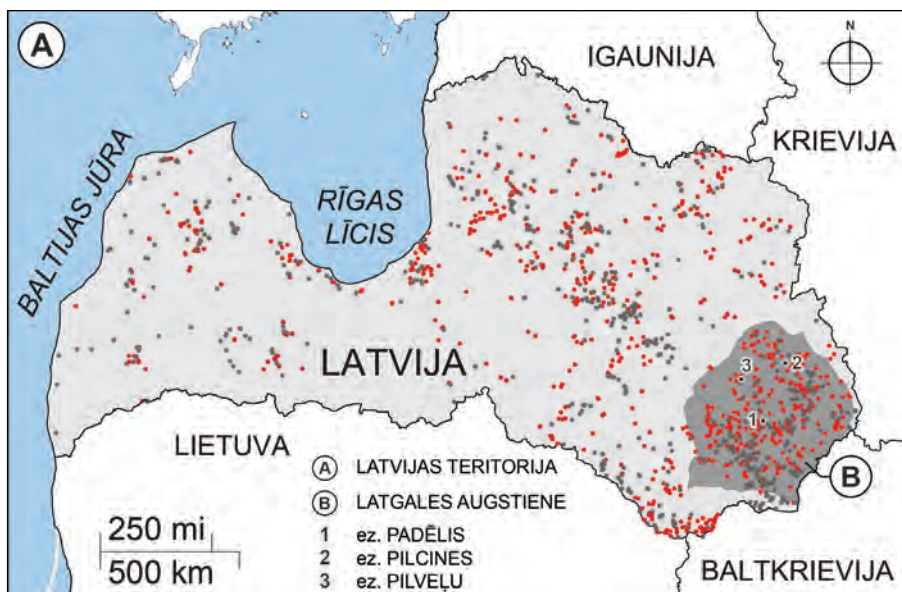
Latvijā sapropeli plaši izmanto lauksaimniecībā kā mēslojumu un lopkopībā kā dzīvnieku barības piedevu, taču apzinātās sapropeļa izmantošanas iespējas ir daudz plašākas un ietver arī šādas sfēras:

- Lauksaimniecība un lopkopība – kaļķošana, mēslojums, vitamīnu-minerālā barība, zaļā masa;
- Būvniecības un celtniecības industrija:
  - saistviela celtniecības kompozītmateriāliem, piemēram, skaidu plāksnēm;
  - saistviela siltumizolācijas kompozītmateriāliem, piemēram, siltumizolācijas plāksnēm;
  - sapropeļbetons;
  - poru materiāls celtniecības materiāliem, piemēram, drenu caurulēm un ķieģeļiem.
- Ķīmiskā rūpniecība – plastmasas, fenoli, šķīdinātāji, amonjaks, eļļas, lakas, parafins, metilspirts;
- Kalnrūpniecība (zemes dziļu derīgo izrakteņu ieguve):
  - flotācijas reaģents rūdas bagātināšanai;
  - viskozitātes samazinātājs urbšanas darbos;
- Enerģētika – cietais kurināmais, šķidrās kurināmais, kokss, gāze;
- Medicīna un veterinārā medicīna – ārstnieciskās dūņas un aplikācijas, ārstnieciskie ūdeņi un preparāti, farmaceitiskie materiāli.

## 2. MATERIĀLI UN METODES

### 2.1. Pētījuma teritorija un detalizētās izpētes vietas

Darba ietvaros izveidotā saldūdens sapropeļa resursu datubāze satur informāciju par ezeriem un purviem, kas bija iekļauti kompleksās ģeoloģiskās izpētes ekspedīciju pārskatos (GEO-Konsultants, 1995, 1996, 1997, 1998a, 1998b, 1999; Latvijas Ģeoloģija, 1994; Latvģeoloģija, 1991a, 1991b, 1992), kā arī citos avotos (Braksh *et al.*, 1967; Leinerte, 1988). Sapropeļa datubāze tika izveidota, lai raksturotu sapropeli kā Latvijas nacionālo stratēģisko resursu, noteiktu tā daudzumu un izvietojumu valstī, kā arī identificētu noteicošos vides faktoros sapropeļa atradņu veidošanai. Pēc sapropeļa datubāzes datiem, Latvijā ir 2200 ezeri. Līdz šim sapropeļameklēšana ir veikta 1286 ezeros, kas atbilst apmēram 55% no visa Latvijas ezeru skaita (2. attēls).



2. attēls. (A) Izpētes vietu izvietojums Latvijas teritorijā: sarkanie punkti – rūpnieciski nozīmīgas sapropeļa atradnes, pelēkie punkti – sapropeļa iegulas, kas netika atzītas par rūpnieciski nozīmīgām; (B) Latgales augstiene ar detaļi pētītām sapropeļa iegulām izvēlētajos ezeros: 1. Padēlis, 2. Pilcines ezers, 3. Pilvelis

Lai detalizēti raksturotu vides apstākļu ietekmi uz dažāda tipa – karbonātiska, klastiska un organogēna – sapropeļa īpašībām, sastāvu un izmantošanas iespējām, raksturojot klimatu un ezera attīstības stadijas, tika izvēlēti trīs ezeri, kas atrodas Latgales augstienē (2. attēls) – Padēlis, Pilcines ezers un Pilvelis. Sākotnējie dati par sapropeļa iegulām un to raksturojumu tika iegūti izmantojot saldūdens sapropeļa pasēs (GEO-Konsultants, 1998b).

### 2.2. Sapropeļa datubāze

Sapropeļa datubāze ir sagatavota ĢIS vidē ESRI Shapefile formātā LKS-92 TM koordinātu sistēmā ar mēroga noteiktību 1:5 000 un UTF-8 rakstzīmju kodējumu, un

sastāv no diviem slāņiem. Ezeru poligona slānis tika izveidots par pamatu izmantojot ĢIS Latvija 10.2 brīvpieejas datubāzes ūdenstilpju slāni (Envirotech, 2013). Izveidotajā slānī ir iekļauta informācija par datubāzes objekta – ezera – parametriem, kas tika iegūti no kompleksās ģeoloģiskās izpētes ekspedīciju datiem, kā arī *www.ezeri.lv* datubāzē publicētas informācijas.

Ezeri, kas nebija iekļauti ĢIS Latvija ūdenstilpju slānī, tika ievietoti no jauna izveidotā slānī, kombinējot datus no ortofoto un lielmēroga topogrāfiskajām kartēm (ORTOFOTO 3 NIR, 2009; TOPO 10K PSRS, 1963).

### 2.3. Analītiskās metodes un sedimentu vecuma noteikšana

Ezeru sapropēja bioloģiskā un ķīmiskā sastāva izpētei tika izmantota multiparametru metodes pieeja, kas ļauj raksturot sastāva izmaiņas visa sapropēja profilā un saistīt tās ar ezera attīstības un vides faktoru izmaiņām. Paraugu apjoms, vieta un analīžu metodes ir uzskaitītas 1. tabulā.

1. tabula

Sapropēja paraugu skaits, kas tika izmantoti sapropēja sastāva analīzei ar dažādām analītiskām metodēm

Nr.	Analītiskā metode	Paraugu skaits ezeros			Atsauce uz izmantoto analītisko metodi
		Padēlis	Pilcines	Pilvelis	
Bioloģiskas metodes					
1	Sporu-putekšņu	30	30	40	Stankevica <i>et al.</i> , 2015
2	Augu makroatlieku	30	30	40	Stankevica <i>et al.</i> , 2015
3	Mikroatlieku	30	40	40	Stankevica <i>et al.</i> , 2015
4	Malakofaunas	30	-	-	Miller and Tevesz, 2001
Fizikāli-ķīmiskas metodes					
5	Vielas blīvums	30	40	40	Grossman <i>et al.</i> , 2002
6	Karsēšanas zudumu analīze	30	40	40	Stankevica <i>et al.</i> , 2015
7	Elementsastāvs	15	17	20	Stankevica <i>et al.</i> , 2012
8	Humusvielu daudzums	30	30	40	Stankevica <i>et al.</i> , 2019
9	Metālu kopējais daudzums	15	17	25	Stankevica <i>et al.</i> , 2020
10	Biogēnā fosfora daudzums	30	30	40	Johengen, 1996
11	Granulometriskā analīze	-	-	40	Last, 2001

Padēļa, Pilcines un Pilveļu ezeru sapropelīm tika veikta vecuma noteikšana: slāņos, kas dziļāki par 1 m tika veikta konvencionālā radioaktīvā oglekļa ( $^{14}\text{C}$ ) izotopu datēšana, virsējam nogulumu metram  $^{210}\text{Pb}$  datēšana.

### 2.4. Datu statistiskā apstrāde

Izmantojot PC-ORD 7 datubāzes rezultātus, kā arī analītisko metožu iegūtos rezultātus tika veikta datu statistiskā apstrāde, izveidotas izkļiedes diagrammas, veikta Pīrsona korelācija un galveno komponentu analīze (PCA).

## 3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA

### 3.1. Saldūdens sapropeļa tipoloģija, daudzums un izplatība Latvijas teritorijā

Lai attīstītu inovatīvas resursu izpētes metodes, izmantojot ĢIS programmatūru, kā arī lai informācija par ezeru sapropeļa resursu izvietojumu un krājumiem Latvijā kļūtu pieejama sabiedrībai, turklāt lai tiktu apzinātas perspektīvas sapropeļa rūpnieciskās iegulas, datus bija nepieciešams digitalizēt, izstrādājot un izveidojot digitālo datubāzi.

Jaunu datu pievienošanai, kā arī papildināšanai izstrādātajā datubāzē ar mērķi novērtēt sapropeļa izmantošanas ekonomisko potenciālu, autore piedāvā **sapropeļa definīciju** un **pielāgoto saldūdens sapropeļa klasifikācijas sistēmu**, ko ezeru sapropeļu atradņu meklēšanas darbos un krājumu novērtēšanā izmantoja derīgo izraktnu ģeoloģiskās izpētes ekspedīcijās Latvijā (GEO-Konsultants, 1995; Latvgeologija, 1991a, 1991b, 1992; Latvijas Ģeoloģija, 1994).

Piedāvātā sapropeļa definīcija: **saldūdens sapropelis ir subfosili, koloidāli kontinentālo ūdenstilpju nogulumu ar smalkgraudainu vai želejveida struktūru, kas satur 15% un vairāk organisko vielu, kuras veido ūdens augu organismu atliekas ar pārsvarā nelielu neorganiskas izcelsmes komponentu saturu.**

Autores izstrādātā **saldūdens sapropeļa klasifikācija** organiskos nogulumus iedala **Tipā, Klasē** un **Veidā** pēc pelnu (Ac) procentuālā satura sausnā, Ca un Fe kopējā satura (g/kg sausnas), mikroatlieku un mineraloģiskā sastāva (2. tabula).

Sapropeļi kā resurss ir ietverts cietā kurināmā grupā, kurā ietilpst kūdra, koks, lignīns (Podgorodetskii *et al.*, 2015), tāpēc sapropeļa veida noteikšanai autore piedāvā izmantot pasaulē atzītas un pārbaudītas metodes: pelnu satura noteikšana (LVS/ STK/38, 2011), Ca un Fe kopējais saturs sausnā (Vincēviča-Gaile, 2014), mikroatlieku analīze (Stankevica *et al.*, 2015), granulometriskā sastāva noteikšana (Last, 2001).

Saldūdens sapropeļa datubāze tika izstrādāta, lai sistematizētu un apkopotu pieejamo informāciju par ezeru sapropeļa meklēšanas darbu rezultātiem. Pēc iegūtajiem datiem Latvijā ir 2200 ezeri, kas lielāki par 3 ha. Līdz šim sapropeļa meklēšana ir veikta 1286 ezeros (ap 55% no visiem Latvijas ezeriem) (2. attēls).

Kopējais apzinātais ezeru sapropeļa apjoms visā Latvijas teritorijā sastāda 974 982,2 tūkst. m<sup>3</sup> (527 938,5 tūkst. t ar mitrumu 60%), no tiem par rūpnieciski nozīmīgiem sapropeļa krājumiem ir atzīstami 712 213,3 tūkst. m<sup>3</sup> jeb 287 746,3 tūkst. t.

Latvijas teritorijā ezeru izvietojums ir nevienmērīgs; lielā daļā Zemgales līdzenuma ezeru praktiski nav – ezeri aizņem tikai 0,47% no Zemgales plānošanas reģiona (PIR) platības. Savukārt Mērsraga, Liepājas, Babītes novados ezeru blīvums attiecībā pret novada teritoriju ir lielāks par 20%, ko nosaka lielu ūdenstilpju – Engures, Liepājas un Babītes ezera – izvietojums šajās teritorijās.

Attiecībā pret kopējo teritoriju, lielākais ezeru izvietojuma blīvums ir Latgales PIR (3,27%), tam seko Kurzemes (1,54%), Rīgas (1,21%) un Vidzemes (1,03%) PIR.

## Saldūdens sapropeļa klasifikācija

Klase	Veids	Apzīm.	Diagnostikas pazīmes		Izmantošanas iespējas
			Peltnai- nība, %	g/kg sausna Ca Fe	
Organogēns (O)	Kūdrains	       <sup>1</sup>    <sup>1</sup>    <sup>1</sup>    <sup>1</sup>		vaskulārie atugi	>35 humusvielu preparāts, augšanas stimulators, saistviela, mēslojums
	Zoogēns	<sup>1</sup>    <sup>1</sup>    <sup>1</sup>    <sup>1</sup>		dzīvnieki	>15 ārstnieciskās dūņas, mēslojums, bioloģiski aktīvo vielu avots, ķīmiskās pārstrādes izejviela
	Dzīvnieku daļiņu	<sup>1</sup>    <sup>1</sup>    <sup>1</sup>    <sup>1</sup>	<30	alģu summa	>45
	Zilaļģu	       		zilaļģes	>35 saistviela, urbšanas šķīdums, ārstnieciskās dūņas, mēslojums
Kramaļģu (Kr)	Zaļaļģu	           		zilaļģes	>35
	Kramaļģu	<sup>1</sup>    <sup>1</sup>    <sup>1</sup>    <sup>1</sup>    <sup>1</sup>    <sup>1</sup>	<60	kramaļģes	>35 augšanas stimulators, ārstnieciskās dūņas, mēslojums
Organogēni- silikāts (OS)	Organogēni- smilšains	●●●●● ●●●●● ●●●●● ●●●●●		organic remains sand	40 >30
	Organogēni- aleirītisks	▾●●●● ▾●●●● ▾●●●● ▾●●●●	<65	organic remains silt	40 >30 mēslojums, ārstnieciskās dūņas, urbšanas šķīdums, ķīmiskās pārstrādes izejviela
Organogēni- silikāts (OS)	Organogēni- mālainis	●●●●● ●●●●● ●●●●● ●●●●●		organic remains clay	40 >30
	Kramaļģu- smilšains	30-65 ▾●●●● ▾●●●● ▾●●●● ▾●●●●	<60	diatoms sand	<20 >30
Silikātu	Kramaļģu- aleirītisks	▾●●●● ▾●●●● ▾●●●● ▾●●●●		diatoms silt	<20 >30 ārstnieciskās dūņas, ķīmiskās pārstrādes izejviela
	Kramaļģu- mālainis	▾●●●● ▾●●●● ▾●●●● ▾●●●●		diatoms clay	<20 >30



## Saldūdens sapropeļa klasifikācija

Tips	Klase	Veids	Aptūm.	Diagnostikas pazīmes				Izmantošanas iespējas
				Pelnai- mība, %	g/kg sausna	Mikroatlīekas, mineroloģiskais sastāvs, %, %		
				Ca	Fe			
Silikātu (Sl)	Smiļšains		••••• ••••• •••••			smiltis	30-50	
	Aleirītisks		••••• ••••• •••••	<60	<285	aleirīts	30-50	augšnes ielabotājs
	Mālainis		••••• ••••• •••••			māls	30-50	
Silikātu	Organogēni- karbonātisks		% % %	<30	60-140	org. atl.* kalcijs	40 <20	mēslojums, dzīvnieku barības piedeva, ķīmiskās pārstrādes izejviela
	Smiļšaini- karbonātisks		••••• ••••• •••••	30-65	60-140	kalcijs smiltis	<20 30-50	
	Aleirītiski- karbonātisks		••••• ••••• •••••			kalcijs aleirīts	<20 30-50	mēslojums, augšnes kalļošanas materiāls
Karbonātu (Kar)	Mālaini- karbonātisks		••••• ••••• •••••			kalcijs māls	<20 30-50	
	Karbonātiski- smiļšains		••••• ••••• •••••	65-85	60-140	kalcijs smiltis	<20 >50	
	Karbonātiski- aleirītisks		••••• ••••• •••••			kalcijs aleirīts	<20 >50	augšnes ielabotājs
Karbonātu	Karbonātiski- mālainis		••••• ••••• •••••			kalcijs māls	<20 >50	
	Karbonātisks		••••• ••••• •••••	<85	>140	kalcijs	>20	kalļošanas materiāls ārstnieciskās dūņas, barības piedeva

Saldūdens sapropeļa klasifikācija

Tips	Klase	Veids	Apzīm.	Diagnostikas pazīmes			Izmantošanas iespējas
				Pelmai- nība, %	g/kg sausa Ca Fe	Mikroaīdiekas, mineroloģiskais sastāvs, %, %	
Dzelzi saturošais (Dz)	Organogēni- dzelžains			<65	140-285 limonīts	5-10	mēslojums
	Karbonātski- dzelžains			<65	140-285 limonīts	5-10	augsnes kalķošanas materiāls, ārstnieciskās dūņas
	Dzelžaini- karbonātski			<85	140-285 limonīts	5-10	augsnes kalķošanas materiāls
	Dzelžains			<85	>285 limonīts	>10	netiek izmantots
Sēru saturošais (Se)	Sēru saturošais			<85	<140 sulfīdi	>10	
Jauktais (I)	Organogēni siliķātu karbonātski			<30	<140 siliķāti kalcijs sulfīdi	<10	mēslojums, urbšanas šķīdums, ārstnieciskās dūņas
	Silicate karbonātski dzelžains			<30	140-285 sulfīdi	<10	urbšanas šķīdums, saistviela, ārstnieciskās dūņas
	Organogēni siliķātu dzelžains			<30	140-285 sulfīdi	<10	ārstnieciskās dūņas
Jauktais	Organogēni karbonātski sēru saturošais			<30	<140 sulfīdi	>10	ārstnieciskās dūņas

Sapropēja resursu meklēšanas darbi vispilnīgāk veikti Latgales PIR, kur no 958 ezeriem ir izpētīti 590 ezeri jeb 61,58%, Kurzemes PIR no 395 ezeriem sapropēja meklēšanas/izvērtēšanas darbi veikti 121 ezerā, Vidzemes PIR no 583 ezeriem 356 ezeros, Rīgas PIR – 132 (244) ezeros, Zemgales PIR – 84 (185) ezeros (3. tabula).

3. tabula

**Informācija par sapropēja atradnēm un kopējiem sapropēja krājumiem Latvijā**

	Latgale	Kurzeme	Vidzeme	Rīga	Zemgale	Latvija
PIR teritorijas platība, km <sup>2</sup>	14,564.9	13,598.5	15,251.2	10,440.1	10,734.2	64,588.9
Kopējais ezeru skaits	958	393	583	244	185	2363
Ezeru kopējā platība, km <sup>2</sup>	475.8	209.9	156.4	126.1	50.4	1018.6
Sapropēja atradņu skaits	590	121	356	132	84	1283
Sapropēja atradņu platība, km <sup>2</sup>	457.1	164.1	144.9	107.9	37.9	911.3
Sapropēja atradņu izpētes pakāpe, %	61.58	30.63	61.06	54.09	45.40	54.30
Apzināto sapropēja krājumu apjoms, tūkst. m <sup>3</sup>	414,403.3	73,117.7	240,741.2	154,415.0	92,305.0	974,982.2
Apzinātie sapropēja resursi, tūkst. t	184,902.9	53,582.2	141,035.1	109,199.2	39,219.1	527,938.5
Rūpnieciski nozīmīgo sapropēja krājumu apjoms, tūkst. m <sup>3</sup>	338,818.3	28,723.1	188,643.7	76,456.0	60,714.0	693,355.1
Rūpnieciski nozīmīgo sapropēja resursi, tūkst. t	114,769.0	16,268.9	96,946.9	37,189.8	13,848.4	279,023.0

Latgales PIR ir pieejams vislielākais apzinātais kopējais sapropēja krājumu apjoms 414 403,3 tūkst. m<sup>3</sup> (184 902,9 tūkst. t), no kuriem 338 818,3 tūkst. m<sup>3</sup> (114 769,0 tūkst. t) ir pieskaitīti pie rūpnieciski nozīmīgiem sapropēja resursiem, kas pēc apjoma veido 48,86 % no visiem apzinātajiem rūpnieciski nozīmīgajiem sapropēja krājumiem valstī. Aiz Latgales PIR seko Vidzemes PIR, kura apzināti rūpnieciski nozīmīgi sapropēja krājumi pēc apjoma veido 27,21 %. Vismazākie sapropēja krājumi ir Kurzemes PIR – 73 117,7 tūkst. m<sup>3</sup> (53 582,2 tūkst. t), no kuriem rūpnieciski nozīmīgi ir tikai 28 723,1 tūkst. m<sup>3</sup> (16 268,9 tūkst. t), kas ir tikai 4,14% no visiem rūpnieciski nozīmīgiem sapropēja krājumiem valstī.

Vērtīgākais ar plašākām izmantošanas iespējām ir organogēnas klases sapropelis, kura kopējais apjoms ir 18,68% no visiem sapropēja krājumiem. Arī šī sapropēja lielākie krājumi atrodas Latgales PIR (44,43%) un Vidzemes PIR (23,10%) (4. tabula).

Kaut gan Kurzemes PIR ezeru platība aizņem 1,54% no reģiona teritorijas, sapropēja krājumi ir viszemākie – kopējais apjoms ir ap 70 milj. m<sup>3</sup>, turklāt 47,86% šo resursu sastāda silikātu sapropelis, kam ir zems izmantošanas potenciāls.

## Sapropēja resursu sadalījums pēc apjoma Latvijas plānošanas reģionos

Plānošanas reģions	O	Kr	OS	Si	Kar	Dz
Latgales	80 924,6	-	265 253,3	43 628,6	19 794,8	4 797,0
Kurzemes	4 819,1	320,0	23 686,9	34 997,2	7 271,9	2 022,6
Vidzemes	42 080,0	3 187,0	109 753,8	11 241,3	8 265,3	66 213,8
Rīgas	19 984,0	-	35 327,0	63 172,0	17 335,0	18 597,0
Zemgales	34 330,0	794,0	51 276,0	1 917,0	3 720,0	268,0
Kopā Latvijā	18 2137,0	4 301,0	485 296,9	154 956,1	56 386,9	91 898,4

Arī Rīgas PIR, kur kopējais sapropēja apjoms ir lēsts ap 154 milj. m<sup>3</sup>, 41% ir silikātu un 12% dzelzi saturošs sapropelis, kam arī ir zems izmantošanas potenciāls.

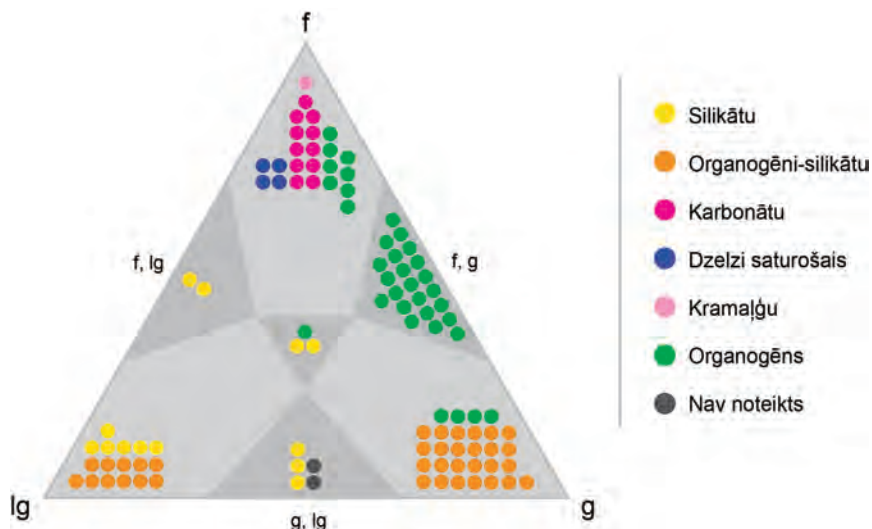
Dati liecina, ka ezerdobju visaugstākais aizpildījuma koeficients ar sapropeli ir Latgales PIR (vidēji 0,61), bet viszemākais – Kurzemes PIR (0,54). Pārējos reģionos ezerdobju aizpildījums būtiski neatšķiras un ir 0,56-0,60.

### 3.2. Sapropēja veidošanās likumsakarības Latvijas teritorijā

Sapropelis Latvijas ezeros sāka veidoties un uzkrāties agrajā holocēnā apmēram pirms 11 700 gadu, kad klimats kļuva labvēlīgs ezera faunas un floras attīstībai. Jāatzīmē, ka pirms holocēna ezeros uzkrājās galvenokārt minerāli nogulumu ar mazu organisko vielu daudzumu, jo aukstā un bargā klimata dēļ, organisko vielu produkcija ezeros nepārsniedza mineralizāciju.

Pētījumos konstatēts, ka sapropēja krājumi galvenokārt uzkrājušies ezeros, kuru ezerdobes ir veidojušās uz augšpleistocēna Latvijas svītas ( $Q_3$  *ltv*) glaciģenajiem, glaciofluviālajiem un glaciolimniskajiem nogulumiem, kuri uzkrājušies ledāja un tā kušanas ūdeņu darbības rezultātā. Ezeros, kas veidojušies uz holocēna nogulumiem ( $Q_4$ ) sapropelis uzkrājas nenozīmīgos daudzumos. Sapropēja veidošanos galvenokārt nosaka sateces baseina apstākļi, tā virsmas reljefs, ģeoloģiskā struktūra, ezeru hidroloģiskais un hidrogrāfiskais režīms, ezera floras un faunas attīstība.

Dažādu sapropēja klašu veidošanās ir būtiski atkarīga no nogulumu veida ezera sateces baseinā (3. attēls) un ezerdobes veidošanas tipa. Piemēram, organogēnās klases sapropelis veidojas galvenokārt ezeros, kas veidojušies uz augšpleistocēna ( $Q_3$ ) glaciģēno un glaciofluviālo nogulumu robežas, jo šādi ezeri parasti ir sekli, kas labvēlīgi ietekmē organisko nogulumu uzkrāšanos. Iespējams, ka šajos ezeros ūdens straumes bijušas pārāk vājas, lai izskalotu organisko materiālu, tomēr pietiekami dziļas, lai tajos neveidotos piekrastes litorāles aizaugumi, kuros veidojas zemā tipa kūdra. Sapropelis ar dominējošo silikātu minerālo komponentu veidojas ezeros, kas veidojušies uz augšpleistocēna glaciolimniskajiem ( $lgQ_3$  *ltv*) nogulumiem. Šie nogulumu ir bagāti ar  $SiO_2$  un  $Al_2O_3$ , satur lielu daudzumu silikātu: kvarcu, laukšpatu, vizlu u.c.



3. attēls. Sapropēļa klašu veidošanās likumsakarības atkarībā no augšpleistocēna ( $Q_3$ ) nogulumu veida, uz kuriem veidojies ezers

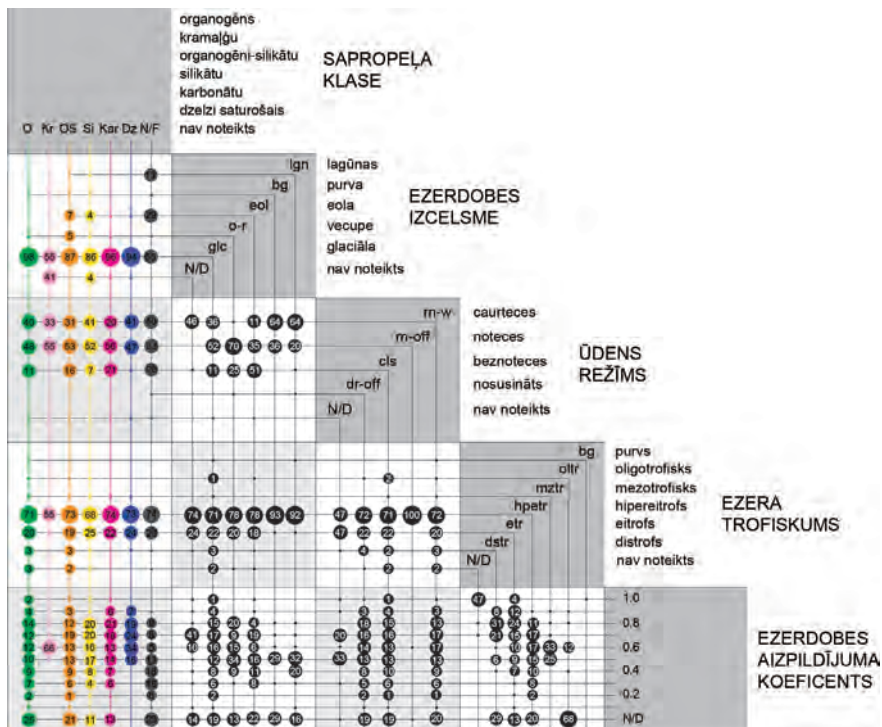
Ezēriem, kuru ezerdobes izveidojušās uz augšpleistocēna glaciofluvialajiem ( $fQ_3$ ) nogulumiem, ir raksturīga dažādu klašu sapropēļa uzkrāšanās, kas neuzkrājas cita veida ezeros. Šādiem ezēriem ir raksturīgas lielas sateces baseina teritorijas, no kurām noteces rezultātā pārsvarā no morēnas apgabaliem, tika ieskaloti karbonāti un dzelzi saturoši minerāli. Organogēnais sapropelis šādos ezeros ir uzkrājies galvenokārt seklos un eitrofīcētos ezera līčos.

Sapropēļa klašu korelācija ar ezera raksturojošajiem lielumiem – ezera ieplakas izcelsmi, ūdens režīmu, ezera trofisko stāvokli un ezera gultnes piepildījumu ar nogulumiem – atklāj, ka glaciģēnas izcelsmes ezeros pārsvarā veidojas visi sapropēļa veidi (4. attēls). Latvijas teritorijā šie ezeri ir vecākie, jo veidojušies Vislas apledošanas ledāja darbības laikā.

Silikātu tipa sapropelis nelielos daudzumos veidojās arī vecupju un uz eolajiem nogulumiem esošajos ezeros. Gan vecupju, gan bijušo upju pietekās veidojas savdabīgi, mazi, sekli, iegareni ezeri, kuru sateces baseini atrodas upju palienēs. Šajos ezeros pakāpeniski ieskalojas aluviālais materiāls, kas arī veido minerālo komponentu šo ezera nogulumiem. Eolo nogulumu apgabalos starp kāpām izveidojas mazi iegareni ezeri, kuros uzkrājies silikātu sapropelis, kura sastāvu ietekmē eolās smiltis ezera krastos. Gan vecupju, gan eolo ezera sapropēļa krājumi ir nelieli, un resursi ir mazvērtīgi ekonomiski izdevīgi rūpnieciskai ieguvei.

Sapropelis veidojas ezeros ar visa veida ūdens režīmu, tomēr lielāki krājumi ir ezeros ar noteces un caurteces ūdens režīmu. Sapropelis ir retāk sastopams beznoteces ezeros, jo stāvošs ūdens ir vāji piesātināts ar skābekli, tam ir sliktāka caurredzamība un nenotiek ūdens slāņu sajaukšanās. Šādi apstākļi nav labvēlīgi ezera biotai un to aizstāj kūdras veidojošie augi.

Pētāmo ezera trofiskais stāvoklis parāda, ka mūsdienu rūpnieciski nozīmīgās sapropēļa iegulas ir izveidojušās eitrofos un hipereitrofos ezeros. Distrofajos ezeros sapropēļa veidošanos apturēja pārpurvošanās, kas limitēja ūdens dzīvnieku un

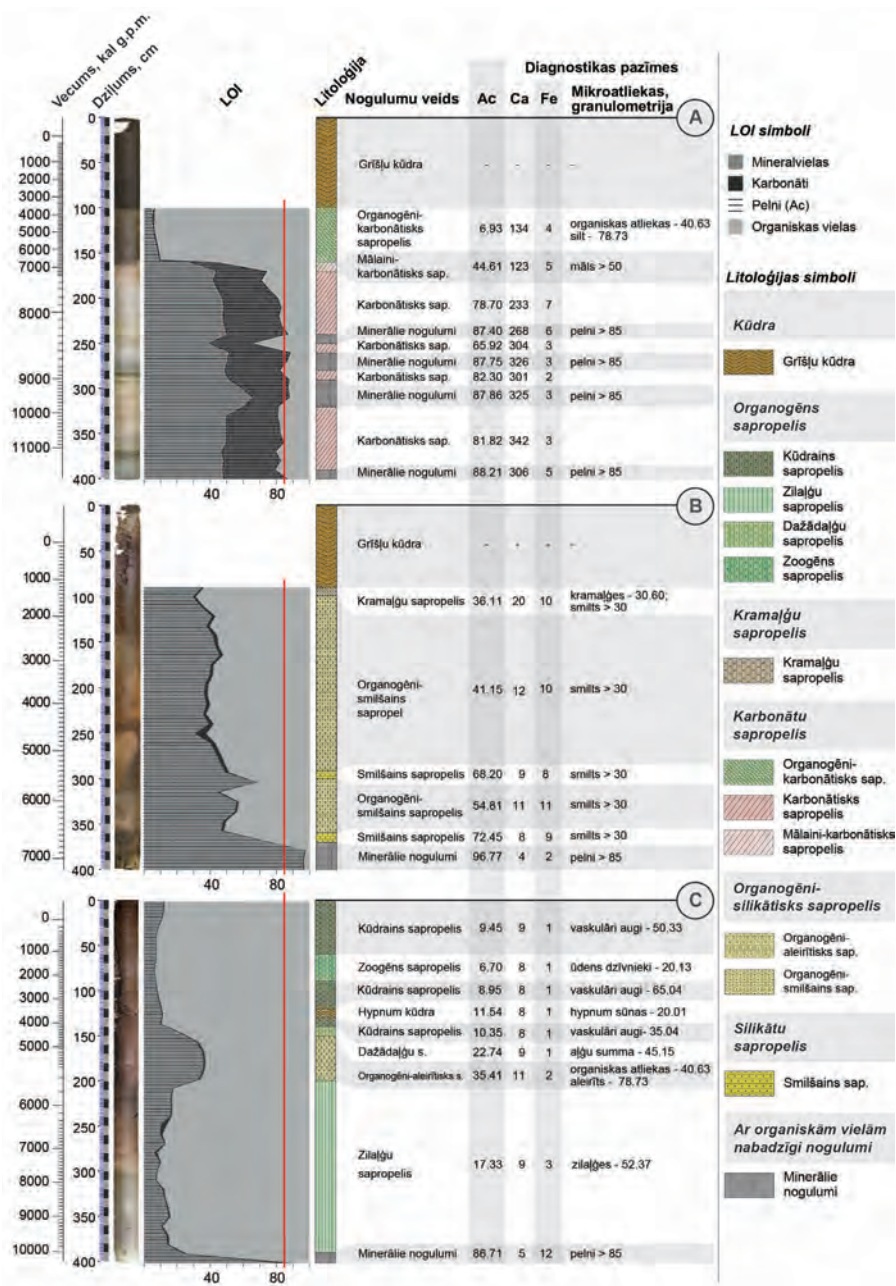


4. attēls. Sapropēļa klašu procentuālais sadalījums atkarībā no ezera īpašībām

ūdens augu attīstību. Oligotrofos un mezotrofos ezeros sapropēļa slāņa biezums un ūdens dziļums padara tā ieguvu ekonomiski neizdevīgu. Par rūpnieciski nozīmīgiem tiek atzīti ezeri ar piepildījumu lielāku par 50%. Datubāzes analīze atklāj, ka agrajā holocēnā ezeros uzkrājās sapropēlis ar augstu minerālās komponentes daudzumu (karbonātu, silikātu). Virs tā parasti uzkrājušies organogēno sapropēļu veidi, kas veidojas seklos un aizsūkušos ezeros.

### 3.3. Vides un ezera attīstības rekonstrukcija sapropēļa veidošanās laikā

Pētot klimata vai vides izmaiņas nogulumu klasifikācija ir mazāk svarīga nekā pētot sapropēli kā derīgo izrakteņi. Resursa parametriem ir jābūt stingri definētiem gan meklēšanas darbos, gan likumdošanā un izmantošanā. Tāpēc, lai aprobētu promocijas darbā izstrādāto un adaptēto sapropēļa klasifikāciju un rekonstruētu vides faktorus, kas tieši ietekmē sapropēļa veidošanos un īpašības darbā pētītajos ezeros (Padēlis, Pilcine un Pilvelis), šo ezeru sapropēļa profilu nogulumu sastāva (litoloģijas) noteikšana tika veikta izmantojot saldūdens sapropēļa klasifikācijas tabulu (2. tabula). Apkopotie pētījuma rezultāti atklāj, ka Padēļa ezerā ir izveidojusies karbonātiskā sapropēļa iegula, Pilcines ezerā – organogēni-silikātu sapropēļa un Pilveļu ezerā – organogēnā sapropēļa iegula (5. attēls).



5. attēls. (A) Padēja ezera (B) Pilcines ezera (C) Pilveņu ezera nogulumu profila raksturojums: vecums, dziļums, karsēšanas zuduma rezultāti, litostratigrāfija un nogulumu veids, izmantojot autores adaptēto saldūdens sapropeļa klasifikāciju

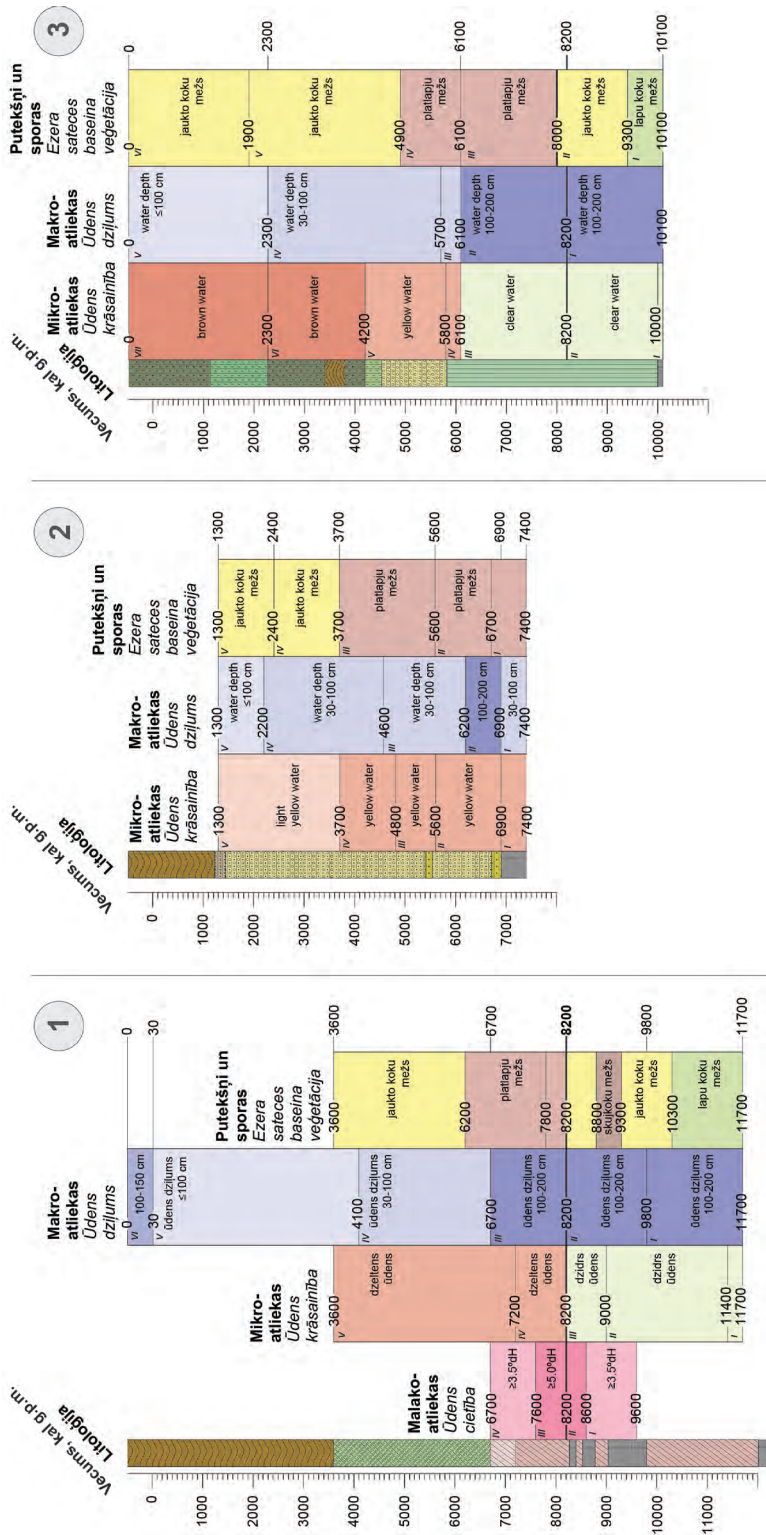
Padēļa ezerā sapropelis ir sācis veidoties kopš agrā holocēna pirms 11 700 kal.g.p.m, kad ezers kļūst mezotrofs. To atspoguļo mikroatliekas, kuru sastāvā šajā laikā pazūd kramaļģes, un starp makroatliekām palielinās mezotrofās sugas *Najas marine* daudzums. Nogulumos labi iezīmējas 8200 kal.g.p.m. – laiks, kad ezera sateces baseinā egļu-bērzu mežus nomaina jauktie meži. Līdz 3600 kal.g.p.m. ezerā urbuma vietā veidojas karbonātiskais sapropelis, līdz 6700 kal.g.p.m. karbonātu sapropēja slāņi mijās ar minerālo nogulumu starpslāņiem, bet jau pirms 3600 kal.g.p.m. strauji samazinās karbonātu un minerālu daudzums, sāk veidoties organogēnais sapropelis, parādās daudz piekrastes augu atlieku, sākas strauja ezera aizaugšana.

Visu sapropēja iegulu Pilcines ezerā veido organogēni smilšainais sapropelis ar smilšaina sapropēja starpslāni, kas sāka veidoties tikai 6900 kal.g.p.m. Ap šo laiku Padēļa ezera nogulumos strauji palielinās organisko vielu daudzums, norādot uz ezera sateces baseina teritorijas samazināšanos un ūdens limeņa svārstībām. Ķūžu ezerā Latvijā (Terasmaa *et al.*, 2013), Juusa ezerā Igaunijā (Punning *et al.*, 2005), kā arī Sloboda ezerā Baltkrievijā (Zhukhovitskaya *et al.*, 1998) arī tika noteiktas ūdens limeņa svārstības. Kaut arī sapropēja tips Pilcines ezerā kopš 3700 kal.g.p.m. nemainās, tomēr mikroatlieku sastāvā strauji pieaug kramaļģes (*Melosira*, *Aulacoseira*, *Tabellaria*, *Cyclotella*, *Cymbella*) un zilaļģes (*Zygnema*, *Desmidiaceae*), norādot uz ūdens ķīmiskā sastāva maiņu. Ap šo laiku Padēļa un Pilveļu ezeros sāk veidoties kūdra. Pilveļu ezerā kūdras slānis veidojies pirms apmēram 400 gadiem, vēlāk veidojas galvenokārt kūdrainais sapropelis. Padēļa ezerā kūdra veidojas līdz mūsdienām, tomēr ~40 cm dziļumā makroatlieku sastāvs uzrāda ūdens limeņa celšanos. Šādas izmaiņas nogulumu bioloģiskajā sastāvā visos trijos ezeros norāda uz islaicīgu sausuma periodu. Līdzīgas klimatiskās izmaiņas atklāj arī dati no Mazā Svētiņu ezera (Stivrins *et al.*, 2014) un daudziem purviem Latvijas teritorijā (Kalnina *et al.*, 2019). Pirms 1300 kal.g.p.m. Pilcines ezerā sāk veidoties niedru kūdra.

Pilveļu ezerā sapropelis sāk uzkrāties kopš 10 000 kal.g.p.m., sākoties straujiem eitrofikācijas procesiem, uz ko norāda *Najas marina* un *Najas flexilis* makroatliekas. No 10 000 līdz 5800 kal.g.p.m. ezerā bija labvēlīgi apstākļi zilaļģu sapropēja uzkrāšanās procesam. Šo nogulumu organisko vielu saturs ir lielāks par 83%, ko galvenokārt veido zilaļģu *Lyngbya* atliekas. Šajā laikā ezera ūdens bija dzidrs un auksts. Sateces baseinā veidojās pļavas, kuras periodiski applūda. No 5800 līdz 4500 kal.g.p.m. nogulumos palielinās minerālvielu daudzums un veidojas organogēni-aleirītiskais sapropelis, kura organiskās atliekas veido galvenokārt zilaļģes *Anabaena* sp. Pēc 4500 kal.g.p.m. ezerā uzkrājas organiskais sapropelis ar paaugstinātu kūdras veidojošo augu atlieku daudzumu un 10 cm biezu kūdras starpslāni – tas norāda uz ezera eitrofikācijas intensificēšanos un ūdens limeņa svārstībām.

Vides un ezera attīstība, un sapropēja veidošanās rekonstrukcija ļauj secināt, ka sapropēja tipam ir cieša saistība ar ezerā nonākošo minerālo komponenti, ūdens sateces baseina lielumu un aizaugšanu, ūdens ķīmisko sastāvu un dziļumu, kā arī aukstuma un sausuma periodiem (6. attēls). Kad ezera ekosistēma vēl spēj veikt paškontroli, aukstuma un sausuma periodi neatspoguļojas sapropēja tipa izmaiņā, bet uzrādās organisko vielu veidotājorganismu sastāva izmaiņas – makro- un mikroatlieku sastāvā. Ezera sateces baseinam pārpurvojoties un samazinoties, tas vairs nenodrošina lielu daudzumu minerālkomponentu ieskalosanos, ūdens režīms kļūst pārāk lēns, lai aizskalotu ezerā veidoto organisko materiālu, ezerā sāk veidoties organiskais sapropelis. Ezera litorāles zonā sapropēja veidošanos aizstāj kūdras veidošanās, ko izraisa kūdras veidotājaugu strauja attīstība.





6. attēls. Bioloģisko komponentu salīdzinājums Padēja, Pilcines un Pilveļu ezeros. Litoģijas simbolus skat Attēls 5

### 3.4. Metālisko elementu saturs un faktori, kas ietekmē to uzkrāšanos sapropelī

Lai noteiktu, kādam izmantošanas veidam sapropelis ir pielietojams, ir svarīgi saprast nogulumu satura mainību un īpašības. Metālisko elementu satura augstas vērtības var būt pozitīvs radītājs izmantojot sapropeli kā mēslojumu vai negatīvs, jo tas kļūst toksisks, izmantojot to kā dzīvnieku barības piedevu.

Metālisko elementu sadalījums un saturs nogulumu profilā sniedz informāciju gan par antropogēnām, gan dabiskas izcelsmes metālisko elementu plūsmām ezera

5. tabula

**Kopējais metālu saturs sapropelī dažādos Latvijas, Baltkrievijas un Krievijas ezeros**  
(pētījuma dati; GEO-Konsultants, 1998b; Zhukhovitskaya et al., 1998)

µg/g	Ca	Fe	Mg	K	Mn	Zn	Na	Cu	Ni	Cr	Pb	Co	Cd	
<b>Padēja ezers</b>														
Vid	230376	4654	3182	171	321	14	163	2,5	1,7	2,8	3,6	1,13	0,06	
Max	349865	12077	5757	1172	570	50	211	8,9	9,1	16,4	7,4	3,18	0,15	
Min	11959	1550	633	20	70	5	109	0,6	0,3	0,4	1,7	0,31	0,04	
<b>Pilcines ezers</b>														
Vid	11569	10286	1702	1658	174	113	56	25,3	23,6	21,4	6,3	6,08	0,35	
Max	20322	13802	2134	2585	299	179	94	40,9	35,7	46,1	15,2	9,36	0,76	
Min	3938	2006	1106	304	41	22	38	3,0	3,2	2,9	0,7	1,04	0,04	
<b>Pilveļu ezers</b>														
Vid	9100	2536	821	424	109	93	68	12,7	8,8	8,7	6,6	2,89	0,49	
Max	13971	12216	2702	2544	188	198	125	19,8	23,8	44,4	30,9	8,20	0,96	
Min	5405	1057	492	106	61	46	38	7,6	3,5	2,7	0,6	0,73	0,21	
<b>Ezeri Latvijas austrumu daļā (115 paraugi) Eikša, Lielais Kalpes, Maltas, Marinežas, Pakalnis, Plošu, Rēzeknes, Padelis, Pilcine, Pilvelis, Vēvers, Līdūcis</b>														
Vid	33654	8270	2081	906	219	112	119	16,7	17,9	20,3	14,7	7,75	0,37	
Max	349865	25614	8340	4940	570	402	390	43,2	35,7	55,4	46,7	13,00	1,66	
Min	3938	1057	492	20	41	5	11	0,6	0,3	0,4	0,6	0,32	0,04	
<b>Ezeri Latvijas centrālajā daļā (11 paraugi)</b>														
Vid						98				19,5	38,6	19,7	7,9	
Max						121				32,0	55,0	39,0	11,9	
<b>Ezeri Latvijas ziemeļu daļā (15 paraugi)</b>														
Vid						86				16,3	66,9	19,5	4,8	
Max						170				21,5	191,3	26,1	8,0	
<b>Ezeri Baltkrievijā (1492 paraugi)</b>														
Vid					342	73				13,2	26,0	16,0	7,0	
Max					1180	233				24,0	40,0		16,0	
<b>Ezeri Kaļiņingradas reģionā (38 paraugi)</b>														
Vid						57				10,6	36,4	17,3	4,8	
Max						181				22,0	81,0	40,2	13	

ekosistēmā, ezera noteces režīmu, klimatiskajām izmaiņām reģionā un izmaiņām zemes izmantošanā sateces baseinā nogulumu veidošanās laikā (Dean, 1974)

Metālisko elementu koncentrācija sapropeļa paraugos no Padēļa, Pilcines un Pilveļu ezeriem svārstās plašā diapazonā (5. tabula), norādot uz to, ka nogulumu veidošanās notika dažādos vides apstākļos ūdenstilpē un tās sateces baseinā ilgā laika periodā. Starp analizētajiem metāliskajiem elementiem sapropeļa paraugos visaugstākās koncentrācijas tika novērotas Ca, Fe, Mg, K, Mn, Zn un Na (10-104 µg/g). Citu elementu (Cu, Ni, Cr, Pb, Co un Cd) koncentrācija tika konstatēta zem 10 µg/g.

Lai novērtētu, vai pētāmajam sapropelī nav paaugstināts metālisko elementu saturs, tas tika salīdzināts ar sapropeli no citiem Latvijas, Baltkrievijas un Krievijas ezeriem (5. tabula).

Galvenā datu interpretācijas problēma ir tā, ka metālisko elementu uzkrāšanos ietekmē dažādi faktori (tiešā ietekme ezera sateces baseinā un netiešā ietekme, piemēram, saistīta ar gaisa masas pārrobežu pānesi, metālisko elementu saistīšanu stabilās minerālu formās, minerālu šķīšanas ģeoķīmisko iedarbību utt.). Līdz ar to noteikta elementa avots laika gaitā var mainīties. Tas izraisa kļūdas vērtēšanas procesā, kad dati aptver ilgākus laika periodus. Statistisko analīzi var izmantot kā instrumentu, lai noteiktu sakarības starp elementu uzkrāšanās modeļiem un identificētu metālu uzkrāšanās tendences visā nogulumu veidošanās periodā.

Metālisko elementu koncentrāciju mainība un metālu Pīrsona korelācija uzrāda, ka pozitīvas korelācijas saites visu trīs pētāmo ezeru nogulumos ir starp sešiem metāliem: Co, Cu, Ni, Fe, K, Cr. Šie metāli veido pelitofilo elementu asociāciju. Šos elementus sorbē māla daļiņas vai arī tie ietilpst māla minerālu kristāliskajos režģos un, līdz ar to, to transportu nodrošina minerālvielas un karbonāti. Otra metālu grupa ir atšķirīga katra ezera ietvaros.

Galveno komponentu analīze kā galveno faktoru visos ezeros uzrāda metālu uzkrāšanās sakarību ar minerālo komponentu, kas nonāk ezerā no sateces baseina ar noteci, caurteci vai gruntsūdeņiem. Padēļa ezerā tie ir ar karbonātiem bagāti terigēnie nogulumi, Pilcines ezerā – silikātu saturošu minerālvielu plūsmas, bet Pilveļu ezerā – minerālvielu ienese no sateces baseina un gaisa.

## SECINĀJUMI

1. Izstrādāta un Latvijas vides apstākļiem adaptēta Sapropēja klasifikācijas sistēma, kas ir balstīta uz sapropēja veidošanās ietekmējošiem faktoriem, sapropēja sastāva un īpašībām, kā arī izmantošanas iespējām. Tā ietver informāciju par sapropēja izmantošanas iespējām un paplašina zināšanas par jau zināmiem pielietojumu veidiem. Sapropēja klasifikācijas sistēmu var izmantot kā matricu sapropēja raksturošanai un perspektīvo pielietojuma jomu identificēšanai.
2. Balstoties uz adaptēto Sapropēja klasifikācijas sistēmu, izstrādāta Saldūdens sapropēja resursu datubāze, kas atspoguļo rūpnieciski nozīmīgās sapropēja iegulas un to raksturojumu, sapropēja resursu apjomu un tipoloģiju Latvijas ezeros. Datubāze nosaka perspektīvos sapropēja izmantošanas virzienus, kas var kalpot kā instruments reģionālās attīstības atbalstam, ilgtspējīgai un ekonomiski pamatotai dabas resursu izmantošanai un ezeru rekultivācijai.
3. Latgales augstienes ezeros veiktā padziļinātā kompleksā paleolimnoloģiskā pētījumā noteikts ezera nogulumu absolūtais vecums, litoloģiskais, bioloģiskais un ķīmiskais sastāvs un citi parametri, kas atklāj ezeru ekosistēmas attīstības gaitu Holocēnā, kā arī sapropēja veidošanās raksturu. Pētījumā rezultāti ļauj secināt, ka Latgales augstienes ezeros sapropelis sāka veidoties jau agrā Holocēnā, pirms 11 700 kal.g.p.m. Visu pētīto ezeru nogulumos labi iezīmējas laiks 6900-6700 kal.g.p.m. un 4200-3600 kal.g.p.m., kad notika izteiktas klimata izmaiņas. Iegūtie dati ļauj identificēt antropogēnās ietekmes intensitāti un nozīmīgumu, primāri liecinot par sugu un ķīmiskā sastāva izmaiņām, atklājot lauksaimniecības, mežsaimniecības ietekmi uz bioloģiskiem procesiem ezeros.
4. Multiparametru metodes pieeja detalizētai ezeru nogulumu profilu izpētei, ietverot  $P_{org}$  pamatelementu (C, H, N, O, S), metālisko elementu (Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Co, Ni, Pb, Cr, Cd un Zn), minerālvielu un organisko vielu (tostarp humusvielu), karbonātu satura noteikšanu, raksturo nogulumu sastāva veidošanās īpatnības un apjomu dažādu dabisku (tiešu un netiešu) un antropogēnu faktoru ietekmē, kā arī ezera pastāvēšanas laikā radušās izmaiņas. Nogulumu ķīmiskā sastāva analīze atspoguļo ģeoķīmisko procesu raksturu nogulumu veidošanās procesā, kas rezultējas ar tipisku ģeoķīmisku elementu asociāciju ģenēzi atbilstoši ezera attīstības fāzei, kā arī atklāj antropogēno ietekmi uz ezeru ekosistēmām un elementu akumulācijas procesu.
5. Latvijā pirmo reizi izmantotā multiparametru metodes pieeja ezeru sapropēja bioloģiskā un ķīmiskā sastāva izpētei saskaņā ar izstrādāto Sapropēja klasifikācijas sistēmu atklāj sapropēja kā dabas resursa optimālas izmantošanas, apstrādes un pārstrādes iespējas noteikšanu, kā arī sniedz jaunu izpratni par ezeru nogulumu sastāva veidošanās apstākļiem un tos ietekmējošiem faktoriem.
6. Pētījumā iegūtie rezultāti ļauj secināt, ka sapropēja pielietojuma potenciāls ir atkarīgs no nogulumu veidošanās apstākļiem, galvenokārt no vides faktoriem un procesiem, kas ietekmē sapropēja ķīmisko sastāvu, tostarp, smago metālu uzkrāšanos sapropēja veidošanās laikā, kas apstiprina darbā izvirzīto hipotēzi.

# LITERATŪRAS SARAKSTS

1. Bambalov, N.N., 2013. Sootnosheniye bioticheskikh i abioticheskikh protsessov pri formirovanii torfyanykh i sapropelevykh otlozheniy [Relationships between biotic and abiotic processes in peat and sapropel sediments formation]. *Biosfera [Biosphere]*, 5(2): 211-222.
2. Braksh, N., Dubava, L., Braksh, I., Logina, K., 1967. *Sapropelevyye otlozheniya vodoyemov Latvyskoy SSR [Sapropel Deposits in Water Basins of the Latvian SSR]*. Zinatne, Riga, 80 p.
3. Braksh, N.A., 1971. *Sapropelevyye otlozheniya i puti ikh ispolzovaniya [Sapropel Sediments and Their Application Possibilities]*. Zinatne, Riga, 282 p.
4. BSSC Institute, 2010. *Sapropelj. Promyshlenno-geneticheskaya klassifikatsiya. Gosstandart [Sapropel. Industrially Genetic Classification. State Standard]*. Nedra, Minsk, 9 p.
5. Dean, W.E., 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition; comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Research*, 44(1): 242-248, DOI:10.1306/74D729D2-2B21-11D7-8648000102C1865D.
6. Envirotech, 2013. GIS Latvija 10.2. Envirotech.
7. GEO-Konsultants, 1995. *Pārskats par ezeru sapropeļu atradņu meklēšanas darbiem Madonas rajona ezeros [Overview on the Search for Lake Sapropel Deposits in the Lakes of Madona District]*. 3 books. LVGMC, Riga.
8. GEO-Konsultants, 1996. *Pārskats par ezeru sapropeļu atradņu meklēšanas darbiem Dobeles, Kuldīgas, Saldus, Talsu un Tukuma rajonos [Overview on the Search for Lake Sapropel Deposits in Dobeles, Kuldīga, Saldus, Talsi and Tukums Districts]*. 3 books. LVGMC, Riga.
9. GEO-Konsultants, 1997. *Pārskats par ezeru sapropeļu atradņu meklēšanas darbiem Valkas, Valmieras, Cēsu, Ogres, Bauskas un Aizkraukles rajonos [Overview on the Search for Lake Sapropel Deposits in Valka, Valmiera, Cesis, Ogres, Bauska and Aizkraukle Districts]*. 4 books. LVGMC, Riga.
10. GEO-Konsultants, 1998a. *Pārskats par ezeru sapropeļa atradņu meklēšanas darbiem Krāslavas rajonā [Overview on the Search for Lake Sapropel Deposits in Kraslava District]*. 3 books. State Geological Fund, Riga.
11. GEO-Konsultants, 1998b. *Pārskats par ezeru sapropeļu atradņu meklēšanas darbiem Rēzeknes, Preiļu un Jēkabpils rajonos [Overview on the Search for Lake Sapropel Deposits in Rezekne, Preiļi and Jēkabpils Districts]*. 4 books. LVGMC, Riga.
12. GEO-Konsultants, 1999. *Pārskats par ezeru sapropeļu atradņu meklēšanas darbiem Alūksnes, Balvu, Gulbenes un Ludzas rajonos [Overview on the Search for Lake Sapropel Deposits in Aluksne, Balvi, Gulbene and Ludza Districts]*. 3 books. LVGMC, Riga.
13. Grossman, R.B., Reinsch, T.G. 2002. Bulk density and linear extensibility. In: Dane, J.H., Topp, C.G. (Eds.) *Methods of Soil Analysis: Part 4 Physical Methods*. Soil Science Society of America, Madison: 201-228, DOI: 10.2136/sssabookser5.4.c9.
14. Heikkilä, M., Seppä, H., 2010. Holocene climate dynamics in Latvia, Eastern Baltic region: A pollen-based summer temperature reconstruction and regional comparison. *Boreas*, 39(4): 705-719, DOI:10.1111/j.1502-3885.2010.00164.x.
15. Johengen, T., 1996. *Standard Operating Procedures for Determining Total Phosphorous, Available Phosphorus, and Biogenic Silica Concentrations of Lake Michigan Sediments and Sediment Trap Material*. GLERL, Ann Arbor, 8 p.
16. Kalnina, L., Stankevica, K., Klavins, M., 2019. Diversity of pollen composition in small lake sediments from Latgale Upland during their history. *Presentation at the 12<sup>th</sup> International Meeting of Pollen Monitoring Programme (PMP 2019)*. Riga, Latvia.
17. Kireicheva, L.V., Khokhlova, O.B., 1998. *Sapropelj: Sostav. Svoystva. Primeneniye [Sapropel: Composition, Properties, Application]*. Roma, Moscow, 120 p.

18. Klavins, M., Kokorite, I., Jankevica, M., Rodinovs, V., Dreijalte, L., 2011. Reconstruction of anthropogenic impact intensity changes during last 300 years in Lake Engure using analysis of sedimentary records. *Environmental and Climate Technologies*, 7(1): 66-71.
19. Kurzo, B.V., 1988. *Ekologiya vodnykh organizmov kak faktor formirovaniya svoystv malozoljnykh sapropeley / Ecology of Aquatic Animals as a Factor in Formation of Sapropel with Low Ash Content*. Peat Institute of the Academy of Sciences of the BSSR, 2: 120-126.
20. Last, W.M., 2001. Textural analysis of lake sediments. In: Last, W.M., Smol, J.P. (Eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Developments in Paleoenvironmental Research, Volume 2*. Springer, Dordrecht, 2: 41-81, DOI:10.1007/0-306-47670-3\_4.
21. Latvgeologija, 1991a. *Kniga I: Lijepayskiy rayon. Rezultaty poiskov mestorozhdeniya sapropelya v ozerakh Lijepayskogo i Ventspilskogo rayonov. Kompleksnaya geologorazvedochnaya ekspeditsiya [Book I: Liepaja District. Overview on the Search for Sapropel Deposits in the Lakes of Liepaja and Ventspils Districts. Integrated Geological Exploration Expedition]*. LG, Riga, 142 p.
22. Latvgeologija, 1991b. *Kniga II: Ventspilskiy rayon. Rezultaty poiskov mestorozhdeniya sapropelya v ozerakh Lijepayskogo i Ventspilskogo rayonov. Kompleksnaya geologorazvedochnaya ekspeditsiya [Book I: Ventspils District. Overview on the Search for Sapropel Deposits in the Lakes of Liepaja and Ventspils Districts. Integrated Geological Exploration Expedition]*. LG, Riga, 179 p.
23. Latvgeologija, 1992. *Rezultaty poiskov mestorozhdeniya sapropelya v ozerakh Rizhskogo i Limbazhskogo rayonov., Kompleksnaya geologorazvedochnaya ekspeditsiya [Overview on the Search for Sapropel Deposits in the Lakes of Riga and Limbazhi Districts. Integrated Geological Exploration Expedition]*. LG, Riga, 129 p.
24. Latvijas Ģeoloģija, 1994. *Pārskats par ezeru sapropeļu atradni meklēšanas darbiem Daugavpils rajonā [Overview on the Search for Lake Sapropel Deposits in Daugavpils District]*, LG, Riga.
25. Leinerte, M., 1988. *Ezeri deg! [The Lakes Are Burning!]* Zinatne, Riga, 94 p.
26. Lopatin, N.V., 1983. *Obrazovaniye goryuchikh iskopayemykh [Formation of Fossil Fuels]*. Nedra, Moscow, 192 p.
27. Lopotko, M.Z., 1974. *Sapropeli Belorusskoy SSR, ikh dobycha i ispolzovaniye [Sapropels of Byelorussian SSR, Their Extraction and Application]*. Nauka i Tekhnika, Minsk, 208 p.
28. Lundquist, G., 1927. *Die Binnengewässer. Bodenablagerungen und Entwicklungstypen der Seen [The Inland Waters. Soil Deposits and Types of Development of the Lakes]*. E. Schweizerbartsche Verlag, Stuttgart, 124 p.
29. LVS/STK/38, 2011. *Latvijas Standarts LVS/STK/38 "Kokmateriāli" [Latvian Standard LVS/STK "Timber"]*. LVS, Riga, 11 p.
30. Miller, B.B., Tevesz, M.J.S., 2001. Freshwater molluscs. In: Smol, J.P., Birks, H.J., Last, W.M. (Eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volume 4: Zoological Indicators*. Springer, Dordrecht, 4: 153-171, DOI:10.1007/0-306-47671-1.
31. ORTOFOTO 3 NIR, 2009. *LĢIA Latvijas 3. etapa tuvā infrasarkanā spektra ortofoto karšu mozaika [LĢIA Stage 3 Near Infrared Spectrum Orthophoto Map Mosaic of Latvia]*. LU GZZF WMS, Riga.
32. Ozola, I., Ceriņa, A., Kalniņa, L., 2010. Reconstruction of palaeovegetation and sedimentation conditions in the area of ancient Lake Burtnieks, northern Latvia. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 59(2): 164-179.
33. Pidoplichko, A.P., Grishchuk, R.I., 1962. *Nekotoryye itogi izucheniya sapropelevykh otlozheniy Belorusskoy SSR [Some Results of the Research of Sapropel Deposits in the Byelorussian SSR]*. Academy of Science of the Byelorussian SSR, Minsk, 293 p.

34. Podgorodetskii, G.S., Yusfin, Y.S., Sazhin, A.Y., Gorbunov, V.B., Polulyakh, L.A., 2015. Production of generator gas from solid fuels. *Steel in Translation*, 45(6): 395-402, DOI:10.3103/S0967091215060108.
35. Punning, J.-M., Koff, T., Kadastik, E., Mikomagi, A., 2005. Holocene lake level fluctuations recorded in the sediment composition of Lake Juusa, southeastern Estonia. *Journal of Paleolimnology*, 34: 377-390, DOI:10.1007/s10933-005-6751-0.
36. Stančikaitė, M., Kisieliene, D., Moe, D., Vaikutienė, G., 2009. Lateglacial and early Holocene environmental changes in northeastern Lithuania. *Quaternary International*, 207(1-2): 80-92, DOI:10.1016/j.quaint.2008.10.009.
37. Stančikaitė, M., Šeirienė, V., Kisieliene, D., Martma, T., Gryguc, G., Zinkutė, R., Mažeika, J., Šinkūnas, P., 2015. Lateglacial and early Holocene environmental dynamics in northern Lithuania: A multi-proxy record from Ginkūnai Lake. *Quaternary International*, 357: 44-57, DOI:10.1016/j.quaint.2014.08.036.
38. Stankevica, K., Kalnina, L., Klavins, M., Cerina, A., Ustupe, L., Kaup, E., 2015. Reconstruction of the Holocene palaeoenvironmental conditions accordingly to the multiproxy sedimentary records from Lake Pilvelis, Latvia. *Quaternary International*, 386: 102-115, DOI:10.1016/j.quaint.2015.02.031.
39. Stankevica, K., Klavins, M., Rutina, L., Cerina, A., 2012. Lake sapropel: A valuable resource and indicator of lake development. *Advances in Environment, Computational Chemistry and Bioscience*, 247-252.
40. Stankevica, K., Vincevica-Gaile, Z., Klavins, M., 2019. Role of humic substances in agriculture and variability of their content in freshwater lake sapropel. *Agronomy Research*, 17(3), DOI:10.15159/AR.19.094.
41. Stankevica, K., Vincevica-Gaile, Z., Klavins, M., Kalnina, L., Stivrins, N., Grudzinska, I., Kaup, E., 2020. Accumulation of metals and changes in composition of freshwater lake organic sediments during the Holocene. *Chemical Geology*, 539, DOI:10.1016/j.chemgeo.2020.119502.
42. Stankeviča, K., Kļaviņš, M., 2013. Sapropelis un tā izmantošanas iespējas [Sapropel and its application possibilities]. *Materials Science and Applied Chemistry*, 29(1): 109-126, DOI:10.7250/msac.2013.028.
43. Stankeviča, K., Kļaviņš, M., Kalniņa, L., 2017. Sapropēļa definīcija un klasifikācijas iespējas [Definition of sapropel and its classification possibilities]. In: Kļaviņš, M. (Red.), *Kūdra un sapropelis – ražošanas, zinātnes un vides sinerģija resursu efektīvas izmantošanas kontekstā [Peat and Sapropel – Synergies of Production, Science and Environment in the Context of Resource Efficiency]*. University of Latvia, Riga, 165-168.
44. Stivrins, N., 2015. *Postglacial Environmental Conditions, Vegetation Succession and Human Impact in Latvia*. Doctoral thesis. Tallinn University of Technology, Tallin, 170 p.
45. Stivrins, N., Kalnina, L., Veski, S., Zeimule, S., 2014. Local and regional Holocene vegetation dynamics at two sites in eastern Latvia. *Boreal Environment Research*, 19(4): 310-322.
46. Stivrins, N., Kolaczek, P., Reitalu, T., Seppä, H., Veski, S., 2015. Phytoplankton response to the environmental and climatic variability in a temperate lake over the last 14,500 years in eastern Latvia. *Journal of Paleolimnology*, 54(1): 103-119, DOI:10.1007/s10933-015-9840-8.
47. Stivrins, N., Liiv, M., Brown, A., Banerjee, R.Y., Heinsalu, A., Veski, S., 2019. Investigating the impact of anthropogenic land use on a hemiboreal lake ecosystem using carbon/nitrogen ratios and coupled-optical emission spectroscopy. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 518: 1-9, DOI:10.1016/j.palaeo.2019.01.007.
48. Terasmaa, J., Puusepp, L., Marzecová, A., Vandel, E., Vaasma, T., Koff, T., 2013. Natural and human-induced environmental changes in Eastern Europe during the Holocene: A multi-proxy palaeolimnological study of a small Latvian lake in a humid temperate zone. *Journal of Paleolimnology*, 49(4): 663-678, DOI:10.1007/s10933-013-9683-0.
49. Titov, Y., 1950. Pigmenti uralskih sapropeley [Pigments of Ural sapropels]. *Proceedings of the Sapropel Deposits Laboratory*, 4: 114-119.

50. TOPO 10K PSRS, 1963. *Bijušā PSRS armijas ģenerālštāba 1963. gada un 1942. gada sistēmas topogrāfisko karšu mozaīka mērogā 1:10 000 [System Topographic Map Mosaic of Former USSR Army General Headquarter from 1963 and 1942 at Scale 1:10 000]*. LU GZZF WMS, Rīga.
51. Vincēviča-Gaile, Z., 2014. *Impact of Environmental Conditions on Micro- and Macroelement Content in Selected Food from Latvia*. Doctoral thesis. University of Latvia, Rīga, 180 p.
52. Zelčs, V., Markots, A., 2004. Deglaciation history of Latvia. In: Ehlers, J., Gibbard, P.L. (Eds.), *Quaternary Glaciations - Extent and Chronology. Part 1: Europe*. Elsevier, Amsterdam, 225-243.
53. Zhukhovitskaya, A.L., Vlasov, B.P., Kurzo, B.V., Kuznetsov, V.A., 1998. *Genesis ozernih otlozenij Golocena v Belarussi: Aspekti biohimii i biologii [Lakes' sediment genesis of Holocene in Belarus: Geochemical and biological aspects]*. Diksend, Minsk, 280 p.







EIROPAS SOCIĀLAIS  
FONDS



EUROPIAN UNION

IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ



UNIVERSITY  
OF LATVIA

ISBN 978-9934-18-567-0



9 789934 185670 >

